

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED.

FÜSIKA * MATEMAATIKA

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ФИЗИКА * МАТЕМАТИКА

PROCEEDINGS OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE ESTONIAN SSR.

PHYSICS * MATHEMATICS

1988, 37, 4

УДК 535.33

Инна РЕБАНЕ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ И ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ИМПУЛЬСНОГО ФОТОВЫЖИГАНИЯ ДЛЯ СУЖЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ПРОВАЛА

INNA REBANE. INTERFERENTSI JA KAHEASTMELISE IMPULSSFOTOSALKAMISE KASUTAMINE
SPEKTRAALSE SALGU KITSENDAMISEKS

INNA REBANE. THE USING OF INTERFERENCE AND TWO-STEP PULSED PHOTOBURNING TO
NARROW THE SPECTRAL HOLE

(Представил В. Хижняков)

В [1] было теоретически показано, что при использовании двухступенчатого импульсного фотовыжигания спектрального провала в случае предельно короткого импульса на втором этапе возбуждения провал в функции неоднородного распределения (ФНР) частоты оптического перехода из основного на первый возбужденный уровень сужается с ростом промежутка времени между импульсами до величины $\Gamma + |\gamma_1 - \Delta|$, где Γ и γ_1 — константы фазовой и энергетической релаксации первого возбужденного уровня и Δ — спектральная ширина первого импульса.

В данной работе найдена возможность сузить провал в ФНР до величины $|\gamma_1 - \Delta - \Gamma|$, используя на первом этапе возбуждения интерференцию добавочного предельно короткого импульса с импульсом спектральной ширины Δ .

Пусть первый этап частотно-селективного возбуждения в области неоднородно уширенной линии поглощения $0 \rightarrow 1$ осуществляется двумя импульсами: первым предельно коротким импульсом (δ -импульсом), проходящим центр системы в момент времени 0, и вторым, затухающим по экспоненциальному закону, когерентным импульсом (его частотное распределение имеет форму лоренциана). В этом случае функция, описывающая временное поведение выжигающего поля на первом этапе возбуждения имеет вид ($0 \leq T_1$):

$$g(t) = S_0 \delta(t) + \begin{cases} 0, & \text{для } t < T_1, \\ \sqrt{\Delta} \exp[-i\omega_0 t - \Delta(t - T_1)/2], & \text{для } t \geq T_1, \end{cases} \quad (1)$$

где T_1 — момент времени начала прохождения через центр системы второго импульса, ω_0 — центральная частота и Δ — спектральная ширина второго импульса (полная ширина на половине высоты), S_0 — константа.

Поглощение системой в возбужденном состоянии ($1 \rightarrow 2$) третьего, предельно короткого импульса, приводит к фотоионизации и выжиганию провала. В этом случае ФНР $Q(\Omega_{01})$ частоты Ω_{01} оптического перехода $0 \rightarrow 1$ следующая [2]:

$$Q(\Omega_{01}) = Q_0(\Omega_{01}) [1 - P(\Omega_{01})], \quad (2)$$

где $Q_0(\Omega_{01})$ — первоначальная ФНР. Вероятность выжигания $P(\Omega_{01})$, определяющая провал в ФНР $Q(\Omega_{01})$, имеет вид [3]:

$$P(\Omega_{01}) = \alpha \int_{T_2}^{\infty} dt_2 \int_{-\infty}^{T_2} dt dt' g^*(t') g(t) F(t_2, T_2, T_2, t, t'). \quad (3)$$

Здесь α — вероятность фототрансформации с уровня 2,

$$F(t_2, t_1, t'_1, t, t') = C \exp[-\gamma_2 t_2 + i\Omega_{12}(t_1 - t'_1) + (\gamma_2 - \gamma_1)(t_1 + t'_1)/2 + \\ + i\Omega_{01}(t - t') + \gamma_1(t + t')/2] \exp[-\Gamma(t_1 - t + t'_1 - t' + \\ + |t_1 - t'_1| + |t - t'| - |t'_1 - t| - |t_1 - t'|)/2] \quad (4)$$

— корреляционная функция трехуровневой системы. γ_1 и Γ — константы энергетической и фазовой релаксации первого возбужденного уровня, γ_2 — константа энергетической релаксации второго возбужденного уровня, Ω_{12} — частота перехода $1 \rightarrow 2$, C — нормировочная константа.

Подставляя формулы (1) и (4) в формулу (3) и интегрируя по формуле (3), получаем вероятность $P(\Omega_{01})$ в виде следующих трех слагаемых:

$$P(\Omega_{01}) = P_1 + P_2(\Omega_{01}) + P_3(\Omega_{01}). \quad (5)$$

Здесь

$$P_1 = \frac{\alpha C S_0^2}{\gamma_2} \exp(-\gamma_1 T_2) \quad (6)$$

не зависит от частоты перехода Ω_{01} (в рассматриваемом диапазоне частот Ω_{01}) и соответствует возбуждению (выжиганию) δ -импульсом.

Вероятность $P_2(\Omega_{01})$ соответствует возбуждению (выжиганию) вторым импульсом (спектральной ширины Δ):

$$P_2(\Omega_{01}) = \frac{\alpha C \Delta}{\gamma_2} \left\{ \frac{(a + \Gamma)}{a} \left[x^2 + \frac{(a + \Gamma)^2}{4} \right]^{-1} \exp(-\Delta T) + \right. \\ + \frac{(a - \Gamma)}{a} \left[x^2 + \frac{(a - \Gamma)^2}{4} \right]^{-1} \exp(-\gamma_1 T) - \\ - 2 \left[\left(x^2 + \frac{(a + \Gamma)(a - \Gamma)}{4} \right) \cos(xT) + \Gamma x \sin(xT) \right] \left[x^2 + \frac{(a + \Gamma)^2}{4} \right]^{-1} \times \\ \times \left[x^2 + \frac{(a - \Gamma)^2}{4} \right]^{-1} \exp \left[-\frac{1}{2} (\Delta + \gamma_1 + \Gamma) T \right] \Big\}, \quad (7)$$

где $a = \gamma_1 - \Delta$, $x = \Omega_{01} - \omega_0$ и $T = T_2 - T_1$.

Из формулы (7) следует (см. также рис. 1—3), что с увеличением времени T между вторым и третьим импульсами соответствующий вероятности $P_2(\Omega_{01})$ провал монотонно сужается. Предельная (при $T \rightarrow \infty$) ширина провала определяется параметром $\Gamma + |\gamma_1 - \Delta|$.

Вероятность $P_3(\Omega_{01})$ соответствует возбуждению (выжиганию) интерференционным членом, возникшим вследствие интерференции первого и второго импульсов (см. рис. 1)

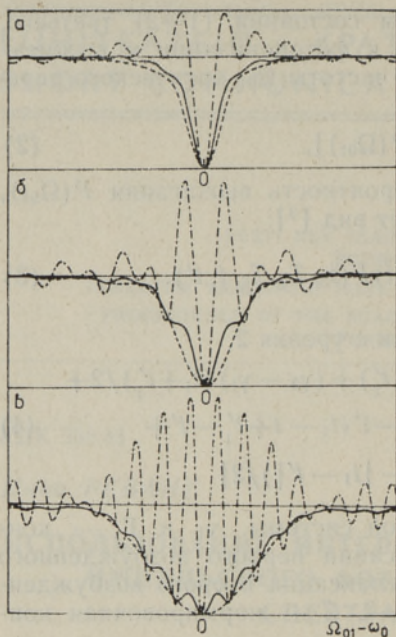


Рис. 1. Провалы в ФНР $q(\Omega_{01})$, соответствующие возбуждению вторым импульсом (штриховая линия), интерференционным членом (штрих-пунктирная линия) и суммарный провал (сплошная линия). Параметры: $\Gamma=0,8\gamma_1$, $\Delta=0,199\gamma_1$, $S_0=1$; а — $T_1=0,5\gamma_1^{-1}$, $T_2=4\gamma_1^{-1}$; б — $T_1=2\gamma_1^{-1}$, $T_2=4\gamma_1^{-1}$; в — $T_1=4\gamma_1^{-1}$, $T_2=5\gamma_1^{-1}$.

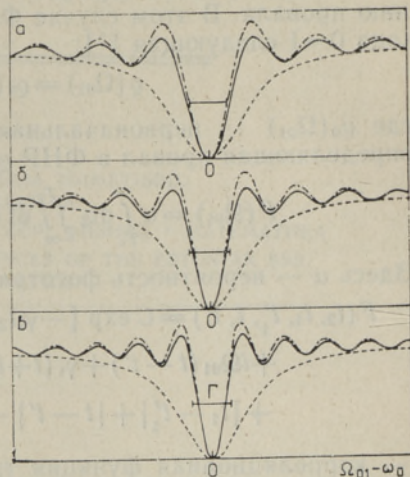


Рис. 2. Провалы в ФНР $q(\Omega_{01})$, соответствующие возбуждению вторым импульсом (штриховая линия), интерференционным членом (штрих-пунктирная линия) и суммарный провал (сплошная линия). Параметры: $\Gamma=0,5\gamma_1$, $\Delta=0,501\gamma_1$, $T_1=0$; а — $T_2=8\gamma_1^{-1}$, $d_1=0,9 \cdot 10^{-2}$; б — $T_2=10\gamma_1^{-1}$, $d_1=0,4 \cdot 10^{-2}$; в — $T_2=12\gamma_1^{-1}$, $d_1=0,1 \cdot 10^{-2}$.

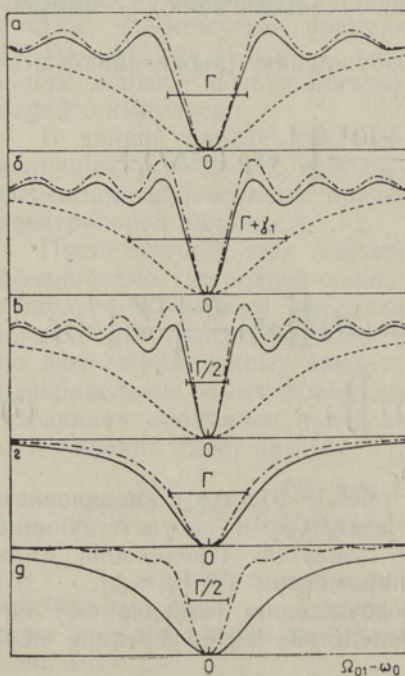


Рис. 3. Провалы в ФНР $q(\Omega_{01})$, соответствующие возбуждению вторым импульсом (штриховая линия), интерференционным членом (штрих-пунктирная линия) и суммарный провал (сплошная линия). Параметры: $\Gamma=\gamma_1$, $T_1=0$; а — $\Delta=0,001\gamma_1$, $T_2=6\gamma_1^{-1}$, $d_1=0,3 \cdot 10^{-2}$; б — $\Delta=0,001\gamma_1$, $T_2=8\gamma_1^{-1}$, $d_1=0,6 \cdot 10^{-3}$; в — $\Delta=0,001\gamma_1$, $T_2=10\gamma_1^{-1}$, $d_1=0,1 \cdot 10^{-3}$; г — $\Delta=1,001\gamma_1$, $T_2=10\gamma_1^{-1}$, $d_1=1$; д — $\Delta=0,501\gamma_1$, $T_2=10\gamma_1^{-1}$, $d_1=1$.

$$P_3(\Omega_{01}) = \frac{\alpha C \sqrt{\Delta} S_0}{\gamma_2} \left[x^2 + \frac{(a-\Gamma)^2}{4} \right]^{-1} \left\{ [(a-\Gamma) \cos(xT_2) + 2x \sin(xT_2)] \times \right. \\ \times \exp \left[-\frac{1}{2} ((\gamma_1 + \Gamma) T_2 + \Delta T) \right] - [(a-\Gamma) \cos(xT_1) + 2x \sin(xT_1)] \times \\ \times \exp \left[-\frac{1}{2} (\gamma_1 + \Gamma) T_1 - \gamma_1 T \right] \left. \right\}. \quad (8)$$

В точке $\Omega_{01} = \omega_0$ при $0 \leq T_1$ отношение вероятностей равно

$$P_2(\omega_0)/P_3(\omega_0) = d \exp(\Gamma T) \Gamma^{-2} T^{-1}, \quad (9)$$

где $d = \sqrt{\Delta} S_0^{-1}$.

Отсюда видно, что для выполнения условия $P_3 \gg P_2$ с ростом T необходимо уменьшить параметр d . Из формулы (8) следует (см. также рисунки), что при каждом $\Gamma < \gamma_1$ можно подобрать Δ таким образом, чтобы выполнялось условие $\gamma_1 - \Gamma - \Delta = 0$. Тогда с ростом времени T ширина провала (точнее центрального минимума) в ФНР, определяемого вероятностью P_3 , стремится к нулю. Если $P_3 \gg P_2$ (на рис. 2 и 3 ($a = v$)) выбран параметр d так, что $P_3 \geq 4P_2$, то и ширина суммарного провала с ростом T стремится к нулю. При $\gamma_1 < \Gamma$ ширина провала с ростом T стремится к значению $\Gamma + \Delta - \gamma_1$. Следовательно, при $\gamma_1 \leq \Gamma$ наиболее узкие провалы получаются при $\Delta = 0$, что соответствует включению незатухающего возбуждения в момент времени T_1 .

Автор благодарен В. Хижнякову и К. К. Ребане за обсуждение работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rebane, I.*, // *Phys. status solidi* (b), 1988, **145**, 749—757.
2. *Rebane, L. A., Gorokhovskii, A. A., Kikas, J. V.* // *Appl. Phys. B.*, 1982, **29**, 235—250.
3. *Ребане И.* // *Изв. АН ЭССР. Физ. Матем.*, 1986, **35**, № 3, 296—301.

Институт физики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
14/1 1988